

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-188906

(43)Date of publication of application : 10.07.2001

(51)Int.Cl.

G06T 7/00

G01N 21/88

(21)Application number : 11-372886

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 28.12.1999

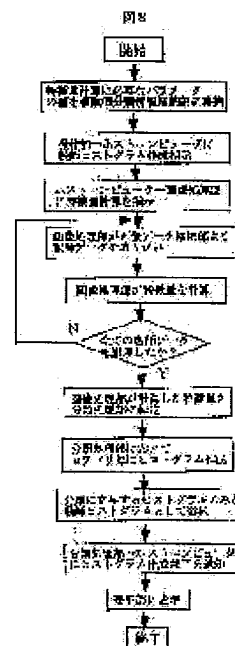
(72)Inventor : NAKAGAKI AKIRA  
TAKAGI YUJI  
SHIMODA ATSUSHI  
OBARA KENJI  
ISOGAI SHIZUSHI  
OZAWA YASUHIKO

(54) METHOD AND DEVICE FOR AUTOMATIC IMAGE CALSSIFICATION

**(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To solve the problem that image processing parameters need to manually be tuned to secure high precision of classification.

**SOLUTION:** Plural values are previously set as image processing parameters, a feature quantity is calculated by using all of those parameter values, and only feature values which are suitable for classification in the case of the classification processing are selected and classified to solve the mentioned problem.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-188906

(P2001-188906A)

(43) 公開日 平成13年7月10日 (2001.7.10)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
G 0 6 T 7/00		G 0 1 N 21/88	J 2 G 0 5 1
G 0 1 N 21/88		G 0 6 F 15/70	3 3 0 N 5 L 0 9 6
			9 A 0 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平11-372886

(22) 出願日 平成11年12月28日 (1999. 12. 28)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 中垣 亮

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株

式会社日立製作所生産技術研究所内

(72) 発明者 高木 裕治

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株

式会社日立製作所生産技術研究所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

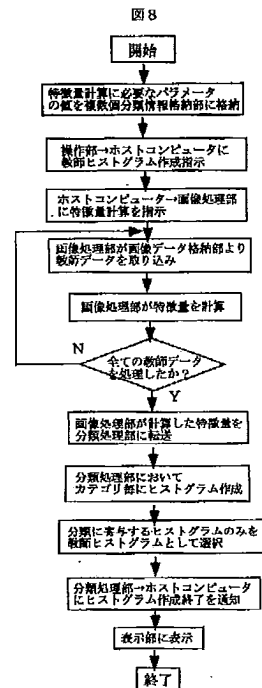
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像自動分類方法及び画像自動分類装置

(57) 【要約】

【課題】 分類の高精度を確保する為には、画像処理パラメータの入手によるチューニングが必要不可欠であった。

【解決手段】 画像処理パラメータとして予め複数個の値を設定し、それらのパラメータ値全てを用いて特徴量を計算し、分類処理の際に、分類に好適な特徴量のみを選択して分類処理を行うことで、上記課題は解決することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】被撮像物がどのカテゴリに属するかが未知である画像データに対して、画像処理を行う事により、該画像データに関する統計的特徴量を抽出し、該特徴量を用いて、被撮像物がどのカテゴリに属するのかを決定する画像自動分類方法において、抽出すべき特徴量の種類を設定する第1のステップと、設定された特徴量の各々について、該画像データに対し、特徴量を計算する第2のステップと、計算された複数個の特徴量から、分類処理に用いる特徴量を選択する第3のステップと、選択された特徴量のみを用いて、分類処理を行う第4のステップとから、なることを特徴とする画像自動分類方法。

【請求項2】被撮像物が、どのカテゴリに属するかが未知である画像データに対して、画像処理を行う事により、該画像データに関する統計的特徴量を抽出し、該特徴量を用いて、被撮像物がどのカテゴリに属するのかを決定する画像自動分類装置において、抽出すべき特徴量の種類を設定する手段と、画像処理により上記特徴量を計算する手段と、上記計算された特徴量から、分類処理に用いる特徴量のみを、あらかじめ定められた基準に基づいて選択する手段と、上記計算された特徴量データを表示する手段と、選択された特徴量データを表示する手段と、上記選択された特徴量を用いて分類処理を行う手段と、を備えることを特徴とする画像自動分類装置。

【請求項3】被撮像物が、どのカテゴリに属するかが未知である画像データに対して、画像処理を行う事により、該画像データに関する統計的特徴量を抽出し、該特徴量を用いて、被撮像物がどのカテゴリに属するのかを決定する画像自動分類方法において、抽出すべき特徴量の種類を設定する第1のステップと、設定された特徴量の各々について、特徴量計算に必要な処理パラメータに異なる複数個の値を設定して、複数個の特徴量を計算する第2のステップと、上記複数個のパラメータ値を与えて計算された複数個の特徴量から任意個の特徴量を選択する第3のステップと、選択された特徴量のみを用いて、分類処理を行う第4のステップとからなることを特徴とする画像自動分類方法。

【請求項4】被撮像物が、どのカテゴリに属するかが未知である画像データに対して、画像処理を行う事により、該画像データに関する統計的特徴量を抽出し、該特徴量を用いて、被撮像物がどのカテゴリに属するのかを決定する画像自動分類装置において、抽出すべき特徴量の種類を設定する手段と、設定された特徴量の各々について、特徴量計算に必要な処理パラメータに異なる複数個の値を設定する手段と、上記複数個のパラメータを用いて画像処理により特徴量を計算する手段と、上記複数個のパラメータを用いて計算された複数個の特徴量データから予め与えられた基準により分類処理に用いるため特徴量を選択する手段と、上記により選択された特徴量を用いて、分類処理を行う手段と、を備えることを

特徴とする画像自動分類装置。

【請求項5】被撮像物が、どのカテゴリに属するかが未知である画像データに対して、画像処理を行う事により、該画像データに関する統計的特徴量を抽出し、該特徴量を用いて、被撮像物がどのカテゴリに属するのかを決定する画像自動分類装置において、抽出すべき特徴量の種類を設定する手段と、設定された特徴量の各々について、特徴量計算に必要な処理パラメータに異なる複数個の値を設定する手段と、上記複数個のパラメータを用いて画像処理により特徴量を計算する手段と、上記複数個のパラメータを用いて計算された複数個の特徴量データを表示する手段と、複数個の特徴量データからの、分類処理に用いる特徴量データの選択を指示する手段と上記により選択された特徴量を用いて、分類処理を行う手段と、を備えることを特徴とする画像自動分類装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、画像の自動分類に関するものであって、特に半導体製品の製造プロセス中に発生したパタン欠陥や付着異物等を撮像した欠陥画像を自動分類する方法及び自動分類する装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】半導体製品には、その製造工程において、製造装置から発生される異物等による形成パターンのショートや断線等の欠陥、製造プロセスの条件の不具合によって生じる欠陥等が発生するおそれがある。そこで、これらの欠陥の発生原因を早期に特定し対策を施すことが、製品歩留まりの向上に不可欠である。そのため、ウェハ表面に付着した異物やウェハ表面に形成されたパタン欠陥を半導体ウェハ異物検査装置や半導体ウェハ外観検査装置により検査することにより、これらの発生を常に監視し、その検査結果を基に、その欠陥の発生原因を早期に突き止め対策を行う必要がある。

【0003】この際、一枚の半導体ウェハ上で検出された欠陥が数個から数十個であれば、それらの箇所を撮像した画像を手で確認することによりその欠陥の種類を判別し、その欠陥の原因を特定することが可能である。

【0004】しかし、一枚のウェハ上で検出される欠陥部位が数百から数千にのぼる場合は、人手による全欠陥の観察には相当の労力が必要とされ、事実上不可能である。このため、これまでは、検出された全欠陥から、任意に選んだ欠陥のみを観察するということがされている。ところがこのように選択された欠陥のみを観察していたのでは、製品の良品／不良品の判断に関わるような重要な欠陥を見逃す可能性がある。

【0005】そこで、検査装置により検出された異物欠陥やパターン欠陥をその発生原因別に又はその外観の特徴別に自動分類し（ここで分離された一つのグループをカテゴリと呼ぶこととする）、製品の不良品の発生に致

命的な欠陥のカテゴリのみを手により観察したり、そのカテゴリ毎の発生頻度などを監視できれば、それら欠陥の早期な対策が可能になり製品歩留まりの向上に貢献することが可能である。

【0006】このような目的のため、外観検査装置等の検査装置により特定された欠陥の位置を撮像した画像データを、それらの発生原因や欠陥の特徴毎に自動分類する技術が開発されている。このような、画像分類に関する従来技術として、画像処理により欠陥部位の特徴を抽出し、それら特徴量を用いて自動分類する方法が、特開

平8-21803号公報に開示されている。

【0007】本従来技術においては、欠陥部位の画像を処理することによりその欠陥の面積や形状、明るさ等の特徴量を計算し、これら特徴量をニューラルネットワークへの入力データとしている。該ニューラルネットワークは、入力される特徴量に対し、特定の欠陥名称や欠陥カテゴリを表す出力パターンを発生するように予め学習されている。これにより、入力される欠陥特徴量に対応して、その欠陥名称や欠陥カテゴリを出力することを可能としている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】ところが、画像処理では、通常、処理に用いられる画像処理パラメータの値によって、異なる処理結果が得られる。つまり、画像処理によって求められた欠陥の大きさ、形状等の特徴量は、画像処理パラメータ値によりその値が変化する。例えば画像の2値化処理により、画像内でそのしきい値よりその階調値が大きい部分、つまりしきい値より明るい部分の面積が、その欠陥の面積を表すものとして処理を行った場合、2値化しきい値の与え方により計算される面積値は変化する。

【0009】よって、従来技術を開示した特開平8-21803号公報に述べられている様に、面積などの複数の特徴量を画像処理によって抽出しその特徴量を用いて分類処理を行う場合では、分類精度をあげる為に、人手により最適となる画像処理パラメータをチューニングする必要がある。

【0010】半導体の製造工程で生じる欠陥の種類は、例えば、露光工程とエッチング工程の様に、その工程毎に違いが見られる。そのため従来技術による画像自動分類法では、分類対象となる半導体製品の製造工程毎にそれらの工程で検出される欠陥に応じた、最適な画像処理パラメータを手によりチューニングし設定しなければならない。

【0011】半導体の製造工程数は、製品により異なるものの、数十から数百までである。それらの工程の中から予め選択した工程のみについて欠陥検査を行う場合であっても工程毎に画像処理パラメータを手によりチューニングするのはかなりの労力を必要とし、自動分類を行う際の大きな課題であった。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決する為には、一種類の画像処理パラメータに関して、複数の異なるパラメータ値を設定して計算した複数の特徴値を求め、それら複数のパラメータ全てを分類処理の入力とし、分類処理においては、各特徴量が分類に寄与するかどうかを評価することで特徴量を選択し、選択された特徴量のみを用いて分類処理を行うことにより達成される。

【0013】

【発明の実施の形態】以下本発明の実施例について説明する。本実施例では、複数の欠陥特徴量を用いてその欠陥カテゴリを特定する自動分類処理方式としてファジイ投票方式を用いた場合について説明するが、自動分類処理として、従来技術に示すようなニューラルネットワーク方式を用いた場合であっても本発明を適用することが可能である。以後、分類すべき欠陥カテゴリが2種類の場合を例として本発明を説明する。

【0014】図1は、本実施例による分類処理の対象となる欠陥カテゴリを示している。図1(a)の101欠陥画像はカテゴリAに属する欠陥の代表的画像を模式的に表示したものである。カテゴリAは、ウェハ上に付着した102異物欠陥のグループを示している。これら異物欠陥は半導体製造装置から発生する異物がウェハ上に付着して欠陥となるものである。ここでカテゴリAに属する異物欠陥は、その異物輪郭が円形に近いという特徴をもつこととする。

【0015】また、図1(a)のX-X'部について、x軸にX-X'方向の座標、y軸にその画像階調値を表示したのが図1(c)である。図1(c)は、カテゴリAに属する異物欠陥では、その画像階調値が異物輪郭周辺では暗く、異物の中心に行くほど明るく撮像されている様子を示している。

【0016】一方、カテゴリBに属する欠陥の代表的画像を模式的に表示したのが図1(b)である。カテゴリBは、ウェハ表面の103傷欠陥(スクラッチ欠陥)のグループである。グループBに属する欠陥は、その欠陥形状が細長であることが特徴的であるとする。図1

(b)のY-Y'部について、x軸にY-Y'方向の座標、y軸にその画像階調値を表示したのが図1(d)である。図1(d)は、カテゴリBのスクラッチ欠陥が、その画像階調値が欠陥内の位置に関わらずほぼ一定であることを示している。この図1に示す欠陥を対象とした分類処理に関し、本発明による分類処理を説明する。

【0017】先ず、本発明の第一の実施例として、ファジイ投票方式により上記2カテゴリのどちらかに属する画像を自動分類する方法、及び画像特徴を選択的に用いて分類処理を行う方法について説明する。ファジイ投票方式は、1. 教師データを用いた教師ヒストグラム作成、と2. 該教師ヒストグラムを用いた分類処理の2つ

のステップからなる。まず、1. 教師データを用いた教師ヒストグラムの作成から説明する。

【0018】まず、カテゴリA、Bのそれぞれに属することが既知である画像をそれぞれのカテゴリに対し複数枚用意する。これらの画像集合を教師データと呼ぶこととする。そして各教師データに対し予め決定された、カテゴリA、Bの分類に用いる画像特徴量を計算しその値を用いて、カテゴリ毎に頻度ヒストグラムを作成する。ここで例として、上記特徴量としてその面積、及び円形度をを用いた例について説明する。これは、カテゴリA、Bの欠陥は、その面積と円形度が相違するという統計的性質を利用するためである。

【0019】欠陥画像内の欠陥部の面積を画像処理を用いて計算する方法としては、様々の方法が考えられる。ここではその一例として、教師データ画像を適当なしきい値により2値化した場合に、そのしきい値より明るい階調値をもつ画素数の和が欠陥面積を表すとする。この方法は、欠陥部がその欠陥の周辺部よりも明るく撮像されるという性質がある場合に用いることができる方法である。この本方法による欠陥面積の計算では、その2値化しきい値の選び方により同一欠陥画像から計算される面積の値に違いが生じる。このため、計算される面積値がその欠陥の面積をできるだけ正確に表すように、しき

$$S/L = 1/4\pi \quad (\text{ここで}\pi\text{は円周率}) \cdots (\text{数}1)$$

の関係があることを利用し、欠陥領域の面積Sと周囲長Lを画像処理により求め、 $4\pi \times S/L$ の値を計算し、その値が1に近いほど円形に近く、0に近いほど細長い形状であることを表すこととする。画像処理による、欠陥領域の面積Sの求め方は前記した方法と同様に求めることができる。

【0023】周囲長Lの求め方については幾つか考えられるが、ここでは、面積Sを求めるために行った2値化処理において、しきい値より明るい階調値を持つと判定された画素の集合を包含する最小の凸多角形を求め（この凸多角形を凸包と呼ぶ）この凸包の線分長の合計を周囲長と呼ぶこととする。

【0024】円形度について、カテゴリA、Bそれぞれの教師データについてその値のヒストグラムを示した例が、図2(b)である。カテゴリAの欠陥の円形度は、カテゴリBの欠陥の円形度に比べそのヒストグラムの峰が1に近いところにあることがわかる。これは、「カテゴリAの欠陥方がカテゴリBの欠陥よりも円形度が高い」という性質を表している。最後に、作成されたヒストグラムをこの後に説明する分類処理のため、その積分値が1になるように正規化を行う。以上が教師データを用いた教師ヒストグラムの作成処理である。

【0025】次に、2. 教師ヒストグラムを用いた分類処理について説明する。これは、カテゴリA、Bのどちらに属するかが不明な被分類データTに対し、データTがカテゴリA、Bのいずれかに属するかを自動判定する

い値を人手によりチューニングする必要がある。

【0020】次に、各カテゴリに対して上記方法により計算された面積値の頻度ヒストグラムを作成する。各欠陥データ毎に異なる面積値を持つのが通常であるが、同一カテゴリに属する欠陥について同じ程度の面積をもつという性質がある場合は、そのヒストグラムは、一つの峰を形成する。図2(a)は図1のカテゴリA、Bそれぞれについて、教師画像に対して面積を計算し、その値を用いて作成したヒストグラムの例を示している。横軸は計算された値が、0から1の間の値で表されるように正規化した値、縦軸は頻度を表す。カテゴリA、Bでそのヒストグラムを比べるとカテゴリAはカテゴリBに比べ大きな面積で峰のピークが存在することがわかる。これは「カテゴリAの欠陥の面積が、概してカテゴリBの欠陥に比べ面積が大きい」という性質を表している。

【0021】次に、欠陥の円形度の計算方法について説明する。円形度の計算方法としては、種々の方法が考えられるが、ここでは一例として、上記欠陥面積を計算するために設定したしきい値での2値化処理結果画像における、欠陥領域の面積(S)と周囲長(L)を用いて行うこととする。

【0022】本方式では、対象欠陥が真円である場合、その面積(S)と周囲長(L)との間には、

処理である。まず、このデータTに対し、教師ヒストグラムに対してその面積と円形度を計算したときと同様の方法で、面積(S1とする)と円形度(V1とする)を計算する。

【0026】次にそれらの特徴値(S1とV1)が、その特徴量について、各カテゴリにどの程度属するかを表す帰属度を計算する。指標値としては、データTについて計算した特徴量の値のその特徴の各カテゴリの教師ヒストグラムにおける頻度値とする。各教師ヒストグラムはその面積値が1になるように正規化してあるので、この頻度値がそのカテゴリに属する確率値となる。

【0027】この指標値の計算方法を説明したのが図3である。図3(a)では、一例として、面積Sに関する教師ヒストグラムにおいて、S1に対応するカテゴリA、Bの頻度値がそれぞれ、0.5、0.2である場合を示している。この場合、被分類データTは、面積特徴に関してみると、カテゴリAへの帰属度が0.5であり、カテゴリBへの帰属度が0.2である。図3(b)は、一例として、円形度に関しカテゴリA、Bへの帰属度が、それぞれ0.3、0.1であった場合を示している。

【0028】次に、これらの帰属度の値を用いて、被分類対象TがカテゴリA、Bのいずれに属するかの総合的な評価値を計算する。この評価値の計算方法については幾つかの方法が考えられるが、以下にその2つの例について説明する。

【0029】その1つめの例としては、評価値を全ての特微量についての帰属度値の和と定義し、最も評価値の大きなカテゴリにデータTが属すると決定する方法があげられる。例えば先の例では、特微量は、面積と円形度という2種類であるため、それらの帰属度の和を計算し、カテゴリAに属するという評価値は、 $0.5 + 0.3 = 0.8$ 、カテゴリBに属するという評価値は、 $0.2 + 0.1 = 0.3$ となる。

【0030】そこで、上記の例では、データTはカテゴ

$$\text{評価値} = a_1 \times (\text{特徴1の帰属度}) + a_2 \times (\text{特徴2の帰属度}) + \dots + a_N \times (\text{特徴Nの帰属度}) \quad (a_1, \dots, a_N: \text{重み係数}) \quad \dots (\text{数2})$$

ここで、 $a_1, \dots, a_N$ は各特微量の帰属度を全体の評価値にどの程度含めるのかを決定する重み係数である。ここでこの重み係数を、評価値を計算するカテゴリ毎に設定すれば、各カテゴリに対する評価値を、よりその特微量の種類に適した方法で計算できる。これはカテゴリ毎に、各特微量が与える影響が異なる場合にその違いを吸収して総合評価を行うことができるからである。

$$\text{カテゴリA評価値} = 0.4 \times \text{面積特徴値} + 0.6 \times \text{円形度特徴値} \dots (\text{数3})$$

$$\text{カテゴリB評価値} = 0.2 \times \text{面積特徴値} + 0.8 \times \text{円形度特徴値} \dots (\text{数4})$$

この意味は、カテゴリAに属する欠陥の特徴としては、面積よりもその円形度の重みを多くして評価した方がカテゴリAらしさを表すことができるとあらかじめわかっている場合に好適となる。同様のことがカテゴリBについてもいえる。本計算方法で、重み $a_N$ を0とすれば、その $a_N$ に対応する特微量Nを、カテゴリへの評価から除外することになる。このようにすれば、各カテゴリに対して評価に必要な特微量のみを選択して、評価値を計算することが可能となる。

【0034】尚、図4の表に示した情報、つまり、どの特微量がどのカテゴリに対しどの程度影響を与えるかを示す情報は分類処理を行うユーザが任意に設定するものとする。

【0035】以上、画像特徴を利用した、ファジィ方式による分類処理の内容について、2カテゴリA、Bのいずれかに属する欠陥を面積と円形度という2特微量を用いて自動分類する例を用いて説明した。なお、半導体製造工程で発生する実欠陥の自動分類では、分類すべきカテゴリは、対象製品と工程から決定され、そのカテゴリ数は数個から数十個になることが考えられる。この場合は、分類特微量もそのカテゴリ数と同程度もしくはそれ以上の種類を用意し、上記で説明した分類処理と同様の処理で実現することができる。

【0036】以上の実施例は、人手により画像処理パラメータをチューニングして特微量を計算し、その特微量を用いて分類処理を行う例を示している。しかし、分類対象となるカテゴリの増加や、分類特微量が増加するに従い、人手によりパラメータをチューニングするのは困難になる。そこで本発明の第二の実施例である、パラメータチューニングを必要としないファジィ投票方式によ

りAに属すると結論付ける。この計算方法によれば、評価値に対するしきい値を設け、いずれのカテゴリに対してもその評価値があるしきい値に満たない場合は、どのカテゴリにも属さないとの結論を導くことも可能である。

【0031】評価値の計算方法の2つめは、各特徴値の間に重みを持たせて計算する方法である。本方法では、各カテゴリへの評価値は以下の式で計算される。

【0032】

【0033】図4の表は、該計算方法を説明するための図であり、図1に例えば欠陥カテゴリA、Bの欠陥分類を行う場合の、各カテゴリと各特微量の間の重みを表したものである。カテゴリAでは、欠陥面積に対する重みが0.4、欠陥円形度に対する重みが0.6となっている。この場合、カテゴリA、Bに対する評価値は、それぞれ以下の様になる。

る画像分類方式について次に説明する。

【0037】本実施例も、先の第一の実施例と同様に、1、教師データによる教師ヒストグラムの作成、2、教師ヒストグラムを利用した分類処理の2つのステップからなる。

【0038】1. 教師ヒストグラムの作成では、各カテゴリの教師画像に対して、各特微量の値を計算しヒストグラムを作成する。本実施例では、前記の第一の実施例と異なり、特微量の計算の際に必要な画像処理パラメータを手によりチューニングするのではなく、パラメータ値として予め複数個の値を決定し、それら複数個の値をパラメータ値とした場合の特微量を全て計算し、パラメータ値毎にヒストグラムを作成する。その後、それら複数個のヒストグラムの中から、分類に寄与するヒストグラムのみを選択するものとする。以下で、複数個の画像処理パラメータによるヒストグラム作成と、ヒストグラム選択について具体的に説明する。

【0039】例として、図1に示すカテゴリA、Bの欠陥を分類する場合においてその面積と円形度を用いて分類することを考える。この処理において設定すべき画像処理パラメータは画像の2値化しきい値である。そこで、人手によるチューニングを避けるため、予め設定した複数個の2値化しきい値を用いて、各しきい値を用いて面積を計算し、それぞれの面積値に関するヒストグラムを作成する。

【0040】今、処理対象となる画像が1画素あたり8ビットのデータ量を持つものとする、その階調値は0から255、つまり0から255の値になる。つまり2値化しきい値として取りうる値は、0から255までの整数値に限られる。そこで、この範囲内で複数個の2

値化しきい値を与えるものとする。例えば、しきい値を100階調から200階調まで20毎に設定すれば、6個の値の異なる2値化しきい値を用いて6個のヒストグラムを作成することになる。どれだけのしきい値をどのように設定するかは、ユーザが任意に指定することが可能である。

【0041】しきい値の一例を示したのが図5である。

(a)に示すグラフは、図1(c)のグラフを再掲したものであり、(b)のグラフは、図1(d)のグラフを再掲したものである。図中の点線が、設定された2値化しきい値を示している。この例は、画像の1画素が1バイトである場合を示しており、設定されたしきい値の数を5、しきい値はそれぞれ、20、70、120、170、220とした場合を示している。

【0042】図6は、前記の異なる5つの2値化しきい値を設定して計算した欠陥面積について作成した5つのヒストグラムの例を示している。カテゴリAに属する欠陥のヒストグラムは、そのしきい値の値によりその面積値のヒストグラムのピーク位置が変化していることがわかる。これは、図5(a)からわかるように、しきい値が20から220つまり小さな値から大きな値になるにつれて、計算される欠陥面積が小さくなるからである。一方、カテゴリBに属する欠陥についてはしきい値が20から170まで変化する場合は、ほとんどそのピーク位置が変化しないことがわかる。

【0043】しきい値を220とした場合には、図5(b)からわかる通り、しきい値より大きな階調値を持つ画素数が少ないため、欠陥面積が小さく計算され、しきい値を20から170として計算した場合にくらべ、そのヒストグラムのピーク位置が左に移動している。

【0044】カテゴリA、Bのヒストグラムを比較してみると、しきい値が20や220と設定した場合のヒストグラムでは、その両者のピーク位置が比較的近いのに対し、しきい値を170としたヒストグラムでは、そのピーク位置に顕著な違いがあることがわかる。

【0045】次に、複数のヒストグラムから教師ヒストグラムの選択を行う。これは、教師ヒストグラムはそのピークがカテゴリ毎で分離している状態の方が分類に好適であるということを利用するもので、上記の5個のヒストグラムから最も分類処理に寄与するヒストグラムを一つ教師ヒストグラムとして選択するものである。

【0046】図6のしきい値20でのヒストグラムを教師ヒストグラムとして、カテゴリA、Bの分類処理を行うことに比べれば、しきい値170でのヒストグラムを教師ヒストグラムとして分類した方が精度の高い分類が期待できる。これは、しきい値170で作成したヒストグラムの方がしきい値20で作成したヒストグラムに比べ、カテゴリA、Bの面積特徴としての統計的性質の違いが、より顕著に現れているからである。

【0047】そこで、ヒストグラム選択では、カテゴリ

毎のヒストグラムの分離度が高ければ高いほど、分類に寄与するものと仮定し、しきい値を変えて計算した特徴値ヒストグラムのそれぞれについて、カテゴリAとカテゴリBの分離度を計算し、最も分離度が高いものを選択することとする。分離度の指標については、カテゴリA、Bのヒストグラムをその最高頻度の値が等しくなるように両者のヒストグラムを正規化し、正規化後のヒストグラムについてその重なり面積値を指標とする。分離度が高い場合には面積の重なりは小さくなる。図6に示すヒストグラムについては、しきい値170で求めたヒストグラム(d)についてはその重なりがないことから、このヒストグラムが教師ヒストグラムとして選択される。

【0048】円形度の計算についても、欠陥の面積を用いることからその2値化しきい値が問題となる。これも同様の考え方により複数の2値化しきい値で円形度を求めたヒストグラムを作成し、最も分類に寄与する教師ヒストグラムを選択するものとする。つまり、図1に示す欠陥の分類処理では、面積と円形度の2つの特徴について、それぞれ2値化しきい値の異なる10個のヒストグラムを作成した後、それぞれ分類に最も寄与するヒストグラムを1つずつ選択した結果、結局2つの教師ヒストグラムが得られることになる。

【0049】なお、ヒストグラムの選択において、複数のヒストグラムからそれらの分離度を用いて1ヒストグラムのみを選択するのではなく、図6に示す複数のヒストグラムをユーザに提示し、ユーザが任意に選択するヒストグラムを決定してもよい。以上が教師ヒストグラムの作成処理である。

【0050】次に、2. 教師ヒストグラムを用いた分類処理について説明する。教師ヒストグラムを用いた分類処理に関しては、人手によるパラメータチューニングを必要とするファジイ投票方式を用いた分類処理と同様に行うことができる。被分類対象からの特徴値算出では、選択された教師ヒストグラムを計算するのに使われた画像処理パラメータのみを用いて特徴値を計算すればよく、複数の画像処理パラメータに対して特徴値を計算する必要はない。以上が、人手によるパラメータチューニングを回避したファジイ投票方式による自動分類処理である。

【0051】図7は、本発明による分類処理を備えた欠陥分類装置の構成図である。601はホストコンピュータであり分類処理全体の制御を行うものである。602は画像処理部であり、入力された画像データに対し、ホストコンピュータから与えられる指示に従って画像処理による特徴量を計算する。603は分類処理部であり、画像処理部において計算される特徴値を用いて、ホストコンピュータから与えられる指示に従って分類処理を行う。604は画像データ格納部である。ここには、教師画像と被分類対象画像データの両者が格納される。60

5は分類情報格納部である。

【0052】ここに格納される分類情報とは、分類対象の属性情報、分類すべきカテゴリの数、分類処理に用いる特徴量の種類、特徴量とカテゴリ間の重み付け情報、各特徴量を計算するときに必要なしきい値等である。なお、分類対象の属性情報とは、例えば画像の撮像条件、対象となる半導体製品の製品名、製造工程等の情報である。また、106は表示部であり、分類情報格納部に記憶される情報や、画像処理部で得られた特徴量、画像処理部においてなされる画像処理の結果画像、分類処理部で作成されるヒストグラム、各ヒストグラムの分離度等の情報を表示するものである。107は操作部であり、ホストコンピュータに対しその操作を行う部分である。

【0053】図8は、図7に示す構成をもつ画像分類装置における教師データ作成処理の流れ、図9はカテゴリ未知データに対する分類処理の流れを示したものである。

【0054】605分類情報格納部には、分類に必要な情報、例えば、分類カテゴリ数、分類特徴量の種類、特徴量を計算するのに用いられるパラメータ値、特徴値と分類カテゴリ間の重み付け情報等が予め設定されているものとする。また、画像データ格納部には、教師ヒストグラム作成に用いる教師データ及び、どのカテゴリに属するのかが不明な被分類対象データの双方が格納されているものとする。

【0055】まず、操作部からホストコンピュータに対し、教師ヒストグラムを作成する旨の指示が伝達される。画像処理部では、ホストコンピュータからの指示により、画像データ格納部より教師データをとりこみ、画像処理を用いて特徴値を計算する。計算すべき特徴量の種類や、その際に必要となる画像処理パラメータ値は、分類情報格納部に記憶されており、ホストコンピュータを経由して画像処理部に転送される。画像処理の処理結果や計算された特徴値は、ホストコンピュータを経由して表示部に表示される。全ての教師データについて特徴量の計算が終了したら、計算された特徴値が分類処理部に転送される。

【0056】分類処理部では、カテゴリ毎に特徴値のヒストグラムを作成する。ヒストグラムを作成する際には、各教師データがどのカテゴリに属するのかを示す情報が必要であるが、この情報は、分類情報記憶部に記憶されており、ホストコンピュータを経由して分類処理部に転送される。分類処理部では、作成されたヒストグラムに対してそのヒストグラムが分類に寄与するかの評価を行い、分類処理に用いる教師ヒストグラムのみを選択する。

【0057】ヒストグラムの評価方法については分類情報格納部に格納されており、ホストコンピュータを経由して分類処理部に転送される。必要により、作成された

ヒストグラムもしくはそれらの中から選択された教師ヒストグラムが表示部に表示される。この場合、作成されたヒストグラムを表示部に表示し、ユーザがその中から教師ヒストグラムとして選択すべきヒストグラムを指定しても良い。

【0058】教師ヒストグラムの作成の終了後、その旨をホストコンピュータに伝え、ホストコンピュータでは、その旨を表示部に表示する。

【0059】カテゴリ未知データに対する分類処理では、操作部より、被分類データに対する分類処理を行う旨がホストコンピュータに対して伝達される。画像処理部では、ホストコンピュータから指示を受けて、画像データ格納部より被分類対象データを読み込み、特徴値を計算する。計算された特徴値や画像処理結果は106表示部に表示することが可能である。計算された特徴値は、分類処理部に転送される。

【0060】分類処理部では、分類情報格納部からホストコンピュータを通じて、各カテゴリと特徴量の間の重み付け情報を取得する。そして作成された教師ヒストグラムを該重み付け情報を用いて被分類データがどのカテゴリに属するかを判断する分類処理を行い該データがどのカテゴリに属するか決定し、その結果をホストコンピュータに転送する。分類処理の際計算される中間データ、例えば、各特徴値毎についての、各カテゴリへの帰属度や、カテゴリと特徴量の重み付け情報等は、必要に応じて106表示部に表示される。また、必要に応じ、この表示された情報を基に、ユーザがその重み付け等の分類に関する情報を新たに決定し、操作部より入力することで再分類を行うことが可能である。

【0061】画像データ格納部内の、処理対象データの全ての分類処理が終了したならば、ホストコンピュータに対し、処理終了の旨を伝え、ホストコンピュータではその旨を表示部に表示する。ユーザは処理終了後に、各分類対象データがどのカテゴリに属するかを表示部より確認することができる。

【0062】図10は該表示画面の一例を示したものである。画面は、教師ヒストグラム作成処理や、分類処理を行う際に必要な情報をユーザと分類装置間でやりとりするためのものである。画面に表示された903領域指示カーソルをもちいて、画面上の各部を操作することができる。指示カーソルの動く方向は、607から与えることができる。901は動作指示部である。ここでは、ユーザが装置に対し教師ヒストグラムの作成の開始や分類処理の開始を指示することが出来る。902は検査情報表示部であり、分類対象である半導体ウェハの異物又は外観検査の情報や分類に必要な情報を表示する。

【0063】例えば、製品名や工程名、ウェハ全体での総欠陥数チップ毎の欠陥数、欠陥カテゴリの数や種類等である。908は特徴量情報表示部である。分類処理に用いる特徴量やそれら特徴量を計算するのに必要な処理



パラメータ、その処理パラメータに与える設定値、特徴量と分類カテゴリとの重み付けなどの関係が表示される。904は画像情報表示部である。ここでは教師ヒストグラム作成用の教師データや非分類対象データに関する情報、例えば画像名や画像サイズ、撮像条件等である。905は画像処理結果表示部である。

【0064】ここでは、909欠陥画像表示部において欠陥画像を表示したり、910画像処理結果処理部において、画像処理において作成される中間処理画像や処理結果データを表示する。906はヒストグラム表示部であり、作成されたヒストグラムが表示される。また、画像処理パラメータに複数の値を設定して作成したヒストグラムを全て表示し、どのヒストグラムが教師ヒストグラムとして選択されたかがすぐにわかるようになっている。また、903指示カーソルを用いて、ユーザがパラメータ値を変更して作成した複数のヒストグラムから教師ヒストグラムを選択することが可能である。また907にはヒストグラムに関する統計的情報が表示される。

【0065】以上説明した、本実施例によれば、画像パラメータのチューニングを行うことなく、分類処理に好適な教師ヒストグラムを得ることが可能になる。また得られた教師ヒストグラムもちいて分類処理を行う場合に、それら特徴量間の重みを変更することができるため、より精度の高い分類処理を行うことが可能となった。また、606表示部に、画像処理結果、分類処理結果等を表示できるため、現在行われている分類処理が分類に好適な条件で行われているかの確認が容易である。また、605分類情報部に、教師ヒストグラム選択の選択ルールや特徴量間の重みを設定できるため、分類すべきカテゴリの変更や、分類に用いる特徴量の種類の変更などが容易となった。

【0066】かかる自動分類装置を用いた半導体欠陥画像自動分類装置を実半導体生産ラインで用いれば、さまざまな製品の様々な製造工程の半導体ウェハの欠陥分類が高精度で行うことができ、大量の欠陥が発生した場合でも、どの種類の欠陥がどれだけ発生しているかのモニタが容易になるため、欠陥発生要因への早期な対策が可能となる。

【0067】

【発明の効果】本発明によれば、画像分類の為に必要となる特徴量抽出を行う場合において、画像処理パラメータをチューニングする必要が生じない。また複数の特徴

量の内、分類処理に有効となる特徴量のみを使用して処理を行うことができるため、精度の高い分類結果を得ることができる。半導体製造工程で発生する欠陥分類装置に、本発明を利用すれば、欠陥画像の自動分類を高精度に実現することができ、人手による欠陥のレビュー作業を効率よく行うと共に、早期の欠陥発生対策を行うことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例にかかる分類対象を示した図である。

【図2】本発明の実施例にかかる教師ヒストグラムを示した図である。

【図3】本発明の実施例にかかる、カテゴリA、Bへの帰属度の計算を説明するための図である。

【図4】本発明の実施にかかる、特徴量とカテゴリ間の重みを表示した図である。

【図5】本発明の実施にかかる、複数の異なるしきい値、及び、それらのしきい値で計算した欠陥面積のヒストグラムを表した図である。

【図6】本発明の実施にかかる、複数の異なるしきい値、及び、それらのしきい値で計算した欠陥面積のヒストグラムを表した図である。

【図7】本発明の分類方法を実現する分類装置の構成を示した図である。

【図8】本発明の実施にかかる教師ヒストグラム作成を説明した流れ図である。

【図9】本発明の実施にかかる分類処理を説明した流れ図である。

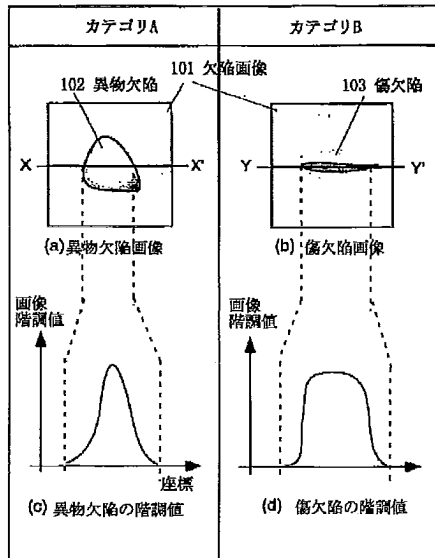
【図10】本発明の実施にかかる表示画面の構成を示した図である。

【符号の説明】

101…欠陥画像、102…異物欠陥、103…傷欠陥、601…ホストコンピュータ、602…画像処理部、603…分類処理部、604…画像データ格納部、605…分類情報格納部、606…表示部、607…操作部、901…動作指示部、902…検査情報表示部、903…領域指示カーソル、904…画像情報表示部、905…画像処理結果表示部、906…ヒストグラム表示部、907ヒストグラム情報表示部、908…特徴量情報表示部、909…欠陥画像表示部、910…処理結果表示部。

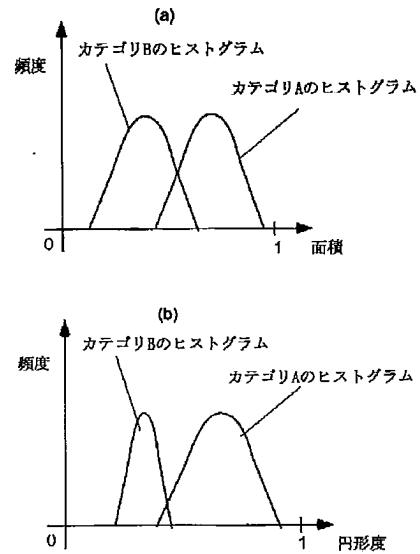
【図1】

図1



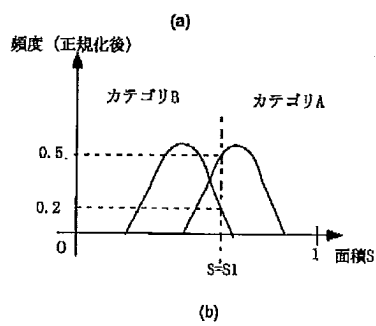
【図2】

図2



【図3】

図3



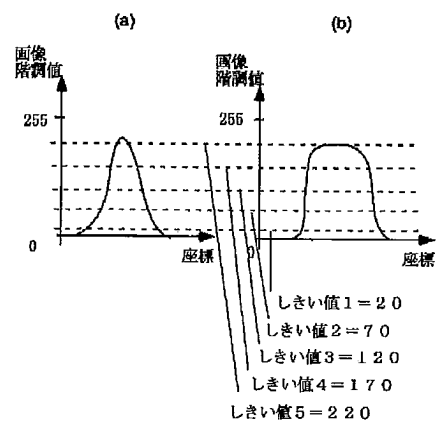
【図4】

図4

特徴量 カテゴリ	欠陥面積	欠陥 円形度
カテゴリA	0.4	0.6
カテゴリB	0.2	0.8

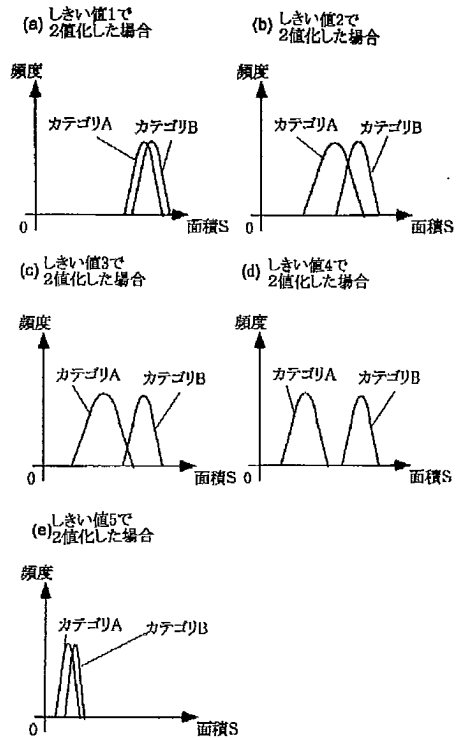
【図5】

図5



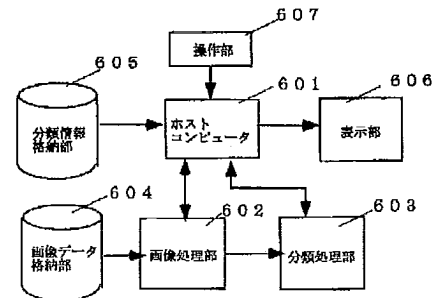
【図6】

図6



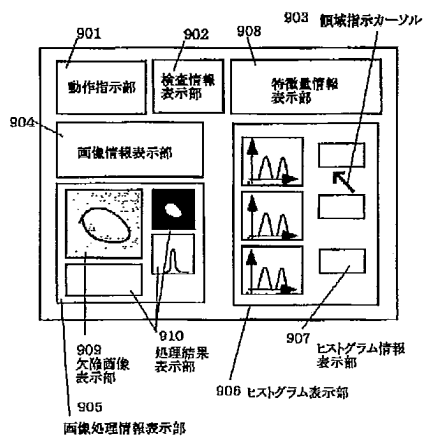
【図7】

図7



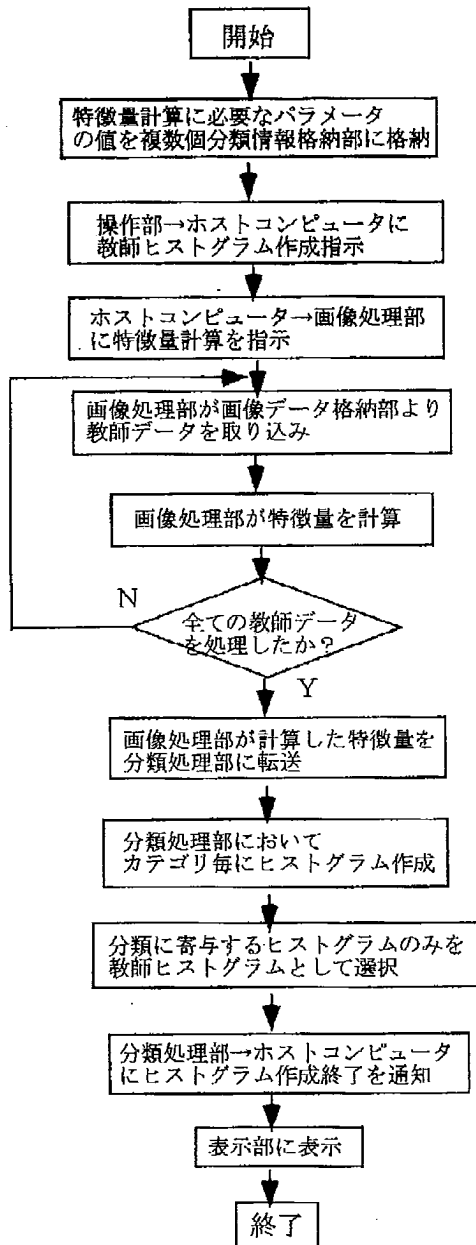
【図10】

図10



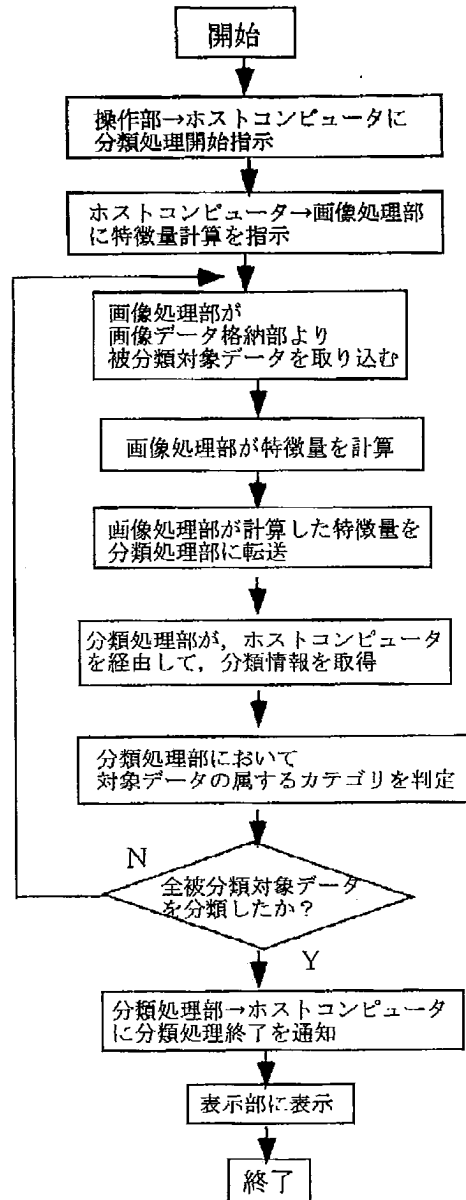
【図8】

図8



【図9】

図9



フロントページの続き

(72)発明者 下田 篤  
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株  
 式会社日立製作所生産技術研究所内

(72)発明者 小原 健二  
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株  
 式会社日立製作所生産技術研究所内

(72)発明者 磯貝 静志  
茨城県ひたちなか市市毛882番地 株式会  
社日立製作所計測器事業部内

(72)発明者 小沢 康彦  
茨城県ひたちなか市市毛882番地 株式会  
社日立製作所計測器事業部内

F ターム(参考) 2G051 AA51 AB01 AB02 AB20 CA03  
CA04 EA09 EA11 EA14 EB01  
EB02 EC01 EC02 EC03 ED07  
ED11 FA10  
5L096 BA03 BA08 BA18 EA43 FA35  
FA54 FA59 FA70 FA81 GA51  
GA57  
9A001 BB05 FF03 GG05 HH23 JJ45  
KK54